

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 01	NOMER: 01	HALAMAN: 33 - 39	SURABAYA 2018	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	---------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Gde Agus Yudha Prawira A, S.T., M.T.
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
• Vol. 01 Nomor 01/rekat/18 (2018)	
PENGARUH PERSENTASE COAKAN PADA DENAH BANGUNAN STRUKTUR <i>FLATSLAB</i> TERHADAP GAYA GESER DAN SIMPANGAN	
<i>Wahyu Putra Anggara, Bambang Sabariman,</i>	01 – 09
PENGARUH SUBSTITUSI <i>FLY ASH</i> DENGAN LIMBAH MARMER TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON GEOPOLIMER PADA NaOH 15M	
<i>Binti Nur Fitriahtsari, Arie Wardhono,</i>	10 – 15
PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH MARMER PADA <i>FLY ASH</i> TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON GEOPOLIMER PADA MOLARITAS 10M	
<i>Imam Agus Arifin, Arie Wardhono,</i>	16 – 23
PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN TINGGI BADAN MANUSIA TERHADAP 3 KELOMPOK YANG BERBEDA	
<i>IAnita Susanti, Ria Asih Aryani Soemitro, Hitapriya Suprayitno,</i>	24 – 32
PENGARUH PENAMBAHAN ABU DASAR (BOTTOM ASH) PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH SURABAYA BARAT TERHADAP NILAI POTENSIAL SWELLING	
<i>Oryn Wijaya, Machfud Ridwan,</i>	33 – 39

PENGARUH PENAMBAHAN ABU DASAR (*BOTTOM ASH*) PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH SURABAYA BARAT TERHADAP NILAI POTENSIAL *SWELLING*

Oryn Wijaya

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

orynwijaya@outlook.com

Machfud Ridwan

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

Machfud.Unesa@gmail.com

Abstrak

Tanah ekspansif adalah istilah yang digunakan pada tanah yang potensi pengembangan atau penyusutan yang tinggi oleh pengaruh perubahan kadar air. Dalam pembangunan konstruksi, jenis tanah ini memiliki daya dukung yang lemah sehingga mengakibatkan kerusakan struktur pada konstruksi dan akan mengalami banyak kerugian jika tidak dilakukan perbaikan sifat tanahnya. Tujuan penelitian ini adalah Mengetahui pengaruh penambahan abu dasar PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik dalam menurunkan nilai potensial pengembangan dan mendapatkan komposisi abu dasar PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik untuk memperbaiki nilai potensial pengembangan tinggi menjadi sedang.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilakukan di Labolatorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Surabaya. Variabel komposisi campuran tanah lempung ekspansif dan Abu dasar dengan variasi 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50% dan 62,5%. Rangkaian pengujian ini antara lain pengujian sifat fisik tanah, berat jenis tanah, kepadatan ringan tanah dan pengembangan tanah.

Nilai pengembangan untuk variasi campuran abu dasar 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50% dan 62,5% masing-masing 5,14%, 4,07%, 2,59%, 1,62%, 0,96% dan 0,21%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penambahan abu dasar mampu menurunkan nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif yang semula tinggi menjadi rendah.

Kata Kunci: tanah ekspansif, abu dasar, potensi pengembangan.

Abstract

Expansive soils is a term used on land with high potential swelling or shrinkage by the effect of the changes in moisture content. In building construction, this type of soil has a weak soil bearing capacity resulting in structural damage to the construction and will be having a lot of harm if not improvement of soil properties. The purpose of this research is to know the effect of the addition of bottom ash of PT Wilmar Nabati Indonesia, Gresik in lowering the value of potential swelling and get the basic composition of bottom ash of PT Wilmar Nabati Indonesia, Gresik to improve high potential swelling medium.

This research uses experimental research methods conducted in the Laboratory Mekanika Tanah State University of Surabaya. The variable composition of expansive soils and bottom ash base with variations 0%, 12.5%, 25%, 37.5%, 50% and 62.5%. The test subjects include testing of atterberg limit test, specific gravity test, standard proctor test and potential swelling test.

Value of potential swelling for bottom ash mixed variations of 0%, 12.5%, 25%, 37.5%, 50% and 62.5% are 5.14%, 4.07%, 2.59%, 1.62%, 0.96% and 0.21%. The results showed that the addition of bottom ash is able to degrade the value of potential swelling on the original high expansive soil into low.

Keywords: *expansive soil, bottom ash, potential swelling.*

PENDAHULUAN

Menurut Braja M. Das (2011:1) di dalam bukunya menerangkan bahwa, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Sedangkan tanah ekspansif (*expansive soil*) adalah istilah yang digunakan pada tanah yang potensi pengembangan atau penyusutan yang tinggi

oleh pengaruh perubahan kadar air (Hary Christady H., 2014:1). Tanah tersusun dari padatan, cair, dan gas. Fase padat terdiri dari mineral, zat organik, atau keduanya. Ruang diantara zat padat (partikel tanah) disebut dengan void. Air lebih dominan ke zat cair dan udara lebih dominan ke zat gas. Air tanah berperan sangat penting pada sifat tanah akibat beban. Jika void terisi dengan air sepenuhnya, maka tanah akan mengalami kejenuhan. Dan sebaliknya, untuk tanah tak jenuh. Jika void terisi dengan udara sepenuhnya, disebut juga tanah kering. (Budhu, 2011:50).Biasanya suatu tanah lempung dapat diperkirakan akan mempunyai perubahan isi yang besar

(mengembang), apabila Indeks Plastisitas: $PI > 20$ (Soedarmo dan Purnomo, 1997:112).

Dalam pembangunan konstruksi, tanah memiliki peran yang sangat penting sebagai tempat dan juga sebagai pendukung dari struktur pondasi. Masalah akan timbul bila tanah yang dimanfaatkan tergolong dalam jenis tanah ekspansif. Karena jenis tanah ini memiliki daya dukung yang lemah sehingga mengakibatkan kerusakan struktur pada konstruksi dan akan mengalami banyak kerugian jika tidak dilakukan perbaikan sifat tanahnya. Penambahan abu dasar (*bottom ash*) pada tanah lempung ekspansif untuk upaya memperbaiki sifat tanah merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan. Hal ini berdasarkan pada pasokan abu dasar yang melimpah dari sisa pembakaran batu bara dalam lingkungan industri PT. Wilmar Nabati Indonesia. Selain itu pemanfaatan limbah abu dasar (*bottom ash*) belum optimal karena kurang diperhatikan bila dibandingkan dengan pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) yang sebelumnya sudah banyak diulas dan diterapkan.

Menurut Hardiyatmo (2013:1), proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti: kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti: mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*) dan pemanasan dan lain-lain.

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air. Besarnya nilai kehilangan pada test keausan dengan Sodium Sulfat menunjukkan adanya kandungan *pyrite* yang ditunjukkan dari kandungan sulfat terlarut yang berlebihan dalam *bottom ash*. *Pyrite* yang ada dalam *bottom ash* harus dibuang dengan elektromagnet sebelum digunakan, sebab *pyrite* merupakan partikel yang ekspansif dan apabila terkena air dalam waktu lama akan mempercepat kerusakan jalan (Santoso, Salil, 2003:76).

Partikel *bottom ash* lebih kasar dibanding *fly ash*. Ukuran butiran sebagian besar antara ukuran pasir halus sampai kerikil. Komposisi kimia *bottom ash* (tabel 1) mirip dengan *fly ash* tetapi mengandung karbon yang lebih banyak. *Bottom ash* cenderung lebih inert karena

partikelnya lebih besar dan lebih menyatu dari *fly ash*. Karena partikel ini sangat menyatu, *bottom ash* cenderung kurang menunjukkan aktivitas pozzolanic dan kurang cocok sebagai unsur utama dalam pengikat semen atau produk beton. Namun, *bottom ash* bisa digunakan sebagai agregat beton atau untuk beberapa aplikasi teknik sipil lainnya dimana pasir, kerikil dan batu belah digunakan (Ramme, 2013:20).

Tabel 1. Geotechnical Properties of Bottom Ash

Property	Bottom Ash		Test Method
	Bituminous Coal ^a	Sub-bituminous Coal ^b	
Specific Gravity	2.33	2.28	ASTM C127 ASTM C128
Minimum Dry Density (lb/cu.ft)	64.8	47.9	ASTM D4254
Maximum Dry Density (lb/cu.ft)	84.2	67.1	ASTM D4253
Plasticity	None	None	---
Optimum Moisture Content (%)	28.7% Air Dry: 15.6%	32.3% Air Dry: 16.5%	ASTM D2216
Los Angeles Abrasion (%)	49.2	50.4	ASTM C131
Linear Shrinkage	1.09	0.59	ASTM D4943
Permeability of granular soils (Constant Head) @ 20°C (cm/sec)	2.40 x 10 ⁻³ 2.28 x 10 ⁻³	5.51 x 10 ⁻³ 5.25 x 10 ⁻³	ASTM D2434
California Bearing Ratio (%) @ 95%	26.0	22.0	ASTM D1883
Coefficient of Lateral Pressure – determined from internal friction angle	Cohesion: 6.97 psi Friction angle: 39.1° K _o : 0.39, K _o : 0.23, K _o : 4.42	Cohesion: 8.83 psi Friction angle: 43.9° K _o : 0.31, K _o : 0.18, K _o : 5.52	ASTM D3080

^a Test method performed on Oak Creek Expansion Plant (OCCP) bottom ash

^b Test method performed on Pleasant Prairie Power Plant (PPPP) bottom ash

Sumber: Ramme (2013:22)

Perbaikan dari sifat tanah yang sudah dipaparkan di atas dengan menggunakan limbah abu dasar (*bottom ash*) bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu dasar (*bottom ash*) PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik dalam menurunkan nilai potensial swelling dan mendapatkan komposisi abu dasar (*bottom ash*) PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik untuk memperbaiki nilai potensial swelling tinggi menjadi sedang. Untuk dapat meraih tujuan tersebut maka diperlukan adanya pengujian pengembangan tanah. Sebelum melakukan tes pengujian pengembangan tanah diperlukan beberapa tes terlebih dahulu, yaitu *atterberg limit test*, *specific gravity test* dan *standart proctor test*.

Tes batas cair, batas plastis, dan batas susut adalah kadar air di dalam tanah yang masing-masing menjadi batas antara fase cair dan fase plastis, fase plastis dan fase semi padat, dan fase semi padat dan padat. Batas-batas tersebut juga dikenal dengan istilah batas *Atterberg* (*Atterberg limits*) (Budi, 2011:3).

Jika pada awalnya kadar air rendah, yaitu dalam keadaan kering, lempung tersebut adalah keras dan

memiliki sifat seperti benda padat. Jika kadar airnya bertambah, lempung akan menjadi lebih lunak dan memasuki tahap yang disebut semiplastis. Dengan terus menambah kadar airnya, lempung akan bertambah lunak sampai menjadi plastis. Pada tahapan plastis, lempung dapat mengalami perubahan bentuk tanpa terjadi retak atau pecah, dan tanpa mengubah volumenya. Jika kadar airnya terus ditambah, maka lempung tersebut akan menjadi sangat lunak sehingga lebih berupa cair daripada benda plastis. Batas cair adalah kadar air apabila galur bertaut sepanjang 13 mm dengan 25 putaran. Batas plastis ditetapkan sebagai kadar air dimana tanah dapat digulung hingga berdiameter minimum 3 mm tanpa retak. Gulungan yang memiliki diameter lebih kecil dari 3 mm akan menyebabkan gulungan tanah tersebut pecah. Pada kadar air yang lebih tinggi, dapat dibuat gulungan tanah dengan diameter yang lebih kecil, dan pada kadar air yang lebih rendah, gulungan tersebut akan pecah sebelum mencapai diameter 3 mm (Wesley, 2012:36,38). Plasticity index merupakan selisih antara batas cair dengan batas plastis suatu tanah. ASTM Test Designation D - 424, dimana; $PI = LL - PL$ (Sutarman, 2013:127).

Berat jenis didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material dengan berat air. Harga specific gravity (G_s) dari butiran tanah sering dibutuhkan untuk bermacam-macam keperluan perhitungan mekanika tanah. Yang mana dapat ditentukan secara akurat di laboratorium (Das, 2010:34).

Pemadatan tanah bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemandirian lereng timbunan (embankments) (Das :2011).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/ padat (Das terjemahan Noor dan Indrasurya, 1991:234).

Potensial pengembangan diartikan sebagai presentase pengembangan dari contoh tanah secara vertikal yang telah dipadatkan secara maksimal dengan kadar air maksimal menurut uji pemadatan (AASHTO 1982,T99, 5,5 lb standart proctor test) dengan ditambah beban kurang dari samadengan 6,9 kPa (1 lb/in²) (Carter, 2016:153). Potensial pengembangan digunakan untuk menunjukkan kemungkinan dari tanah untuk mengembang dan menyusut karena kadar air dari tanah berubah (Carter dkk, 2016:32).

METODE

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode penelitian eksperimental. Variabel yang dianalisa adalah variabel komposisi campuran tanah lempung ekspansif dan Abu dasar (*Bottom ash*). Kemudian setiap komposisi variabel akan dilakukan serangkaian pengujian antara lain pengujian atterberg limit, berat jenis tanah (specific gravity test), kepadatan ringan tanah (standart proctor test) dan pengembangan tanah (swelling test). Dalam penelitian ini tanah lempung ekspansif diambil dari Jalan Menganti Jeruk, Desa Banjarmelati, Kecamatan Lakarsantri, Surabaya, *bottom ash* yang diambil berasal dari PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik.

Sampel yang digunakan direncanakan terdiri dari 6 campuran yang berbeda. Untuk komposisi persentase *bottom ash* yaitu 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50% dan 62,5% dihitung dari berat tanah. Uji laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data primer dari penelitian yang akan dilakukan di Labolatorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Surabaya. Uji laboratorium yang dimaksud antara lain uji Atterberg, test kepadatan (Proctor test), uji berat jenis tanah (G_s), Swelling Test.

Urutan pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan tanah ekspansif diambil sebanyak kurang lebih 180 Kg dan menyiapkan *bottom ash*.
2. Membuat campuran contoh tanah terdiri dari tanah ekspansif dan *Bottom ash* yang telah dijemur dan dihaluskan.
3. Melakukan pengujian *Atterberg*.
4. Menghitung nilai IP
5. Melakukan pengujian berat jenis menggunakan tanah kering lolos ayakan no. 4.
6. Membuat campuran benda uji untuk pengujian *standard proctor test*.
7. Melakukan pengujian kepadatan tanah dengan *standart proctor test*
8. Membuat benda uji *swelling test* dengan penambahan kadar air dari uji proctor sebelumnya melalui *standart proctor test*.
9. Melakukan uji pengembangan (*swelling test*) menggunakan alat konsolidasi.
10. Menganalisa seluruh data dan menarik kesimpulan

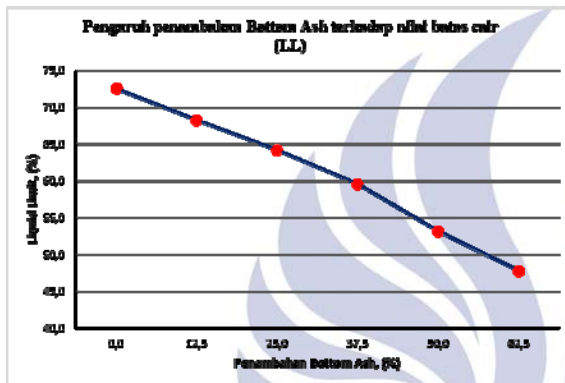
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Batas Cair (LL)

Seperti tampak pada tabel 3. dan Gambar 1. dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar persentase penambahan bottom ash, maka semakin besar pula penurunan dari nilai batas cair yang akan diperoleh.

Tabel 3. Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Batas Cair (LL)

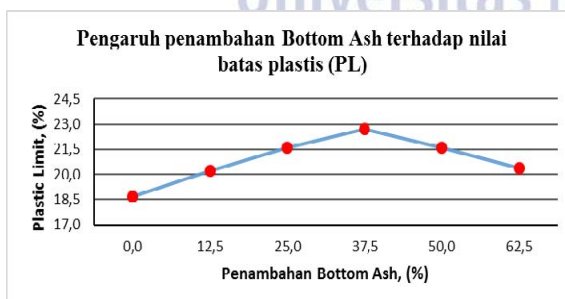
Penambahan Limbah Bottom Ash (%)	Nilai Batas Cair (LL) (%)
0	72,6
12,5	68,3
25	64,2
37,5	59,6
50	53,2
62,5	47,8



Gambar 1. Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Batas Cair (LL)

B. Pengujian Batas Plastis (PL)

Pada Gambar 2. hasil dari penelitian yang menunjukkan nilai dari batas plastis pada tanah asli dengan penambahan 0% bottom ash adalah 17,9%, kemudian dengan penambahan bottom ash sebanyak 12,5% sampai 37,5% berturut- turut nilai dari batas plastis mengalami kenaikan. Akan tetapi pada persentase 50% dan 62,5% nilai dari batas plastis yang semula naik akan mengalami penurunan.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Batas Plastis (PL)

Menurut Ramme, limbah dari bottom ash tidak memiliki plastisitas dan penyerapan air yang rendah (28,7% dan 32,3%) namun bersifat ekspansif karena mengandung senyawa pyrit. Jika penambahan bottom ash melebihi persentase 37,5% maka jumlah berat persentase tanah akan semakin berkurang. Semakin banyak bottom ash yang ditambah, menyebabkan penyerapan air terhadap campuran tanah dan bottom ash semakin sedikit. Ditambah lagi, limbah bottom ash tidak memiliki sifat plastisitas sehingga dengan penyerapan air yang sedikit, dapat mengakibatkan tanah semakin cepat mengalami retak sebelum mencapai diameter 3 mm.

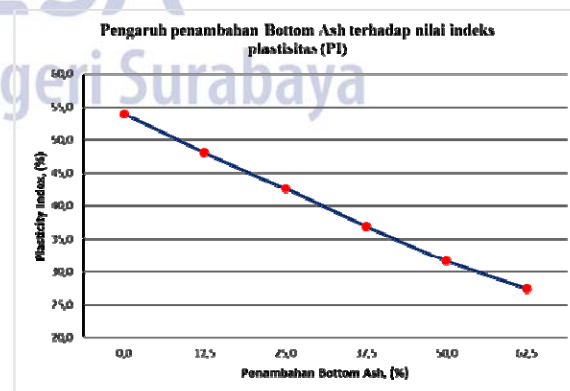
C. Nilai Indeks Plastisitas (IP)

Nilai dari indeks plastisitas (IP) juga dipengaruhi oleh nilai batas cair dan batas plastis. Jika nilai batas cair mengalami penurunan, sedangkan nilai batas plastis naik, maka nilai IP akan turun. Oleh karena itu, semakin besar penambahan limbah bottom ash maka semakin kecil nilai indeks plastisitas yang diperoleh.

Berikut adalah hasil perhitungan nilai indeks plastisitas yang disajikan pada Tabel 5. dan Gambar 3.

Tabel 5. Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Indeks Plastisitas (IP)

Penambahan Limbah Bottom Ash (%)	Nilai Indeks Plastisitas (IP) (%)
0	53,9
12,5	48,1
25	42,6
37,5	36,9
50	31,6
62,5	27,4



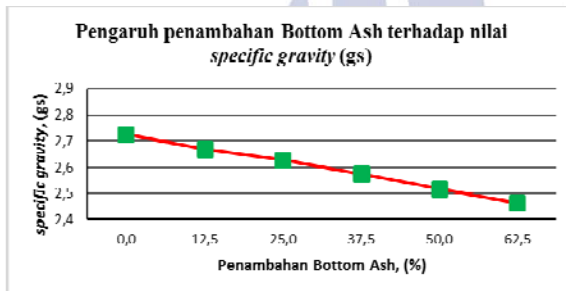
Gambar 3. Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Indeks Plastisitas (IP)

D. Pengujian Berat Jenis Tanah (Gs)

Hasil pada Tabel 6. menunjukkan berat jenis akan mengalami penurunan setelah mendapatkan penambahan bottom ash.

Tabel 6. Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah (Gs)

Penambahan Limbah Bottom Ash (%)	Nilai Berat Jenis Tanah (Gs)
0,0	2,725
12,5	2,668
25,0	2,627
37,5	2,576
50,0	2,518
62,5	2,465



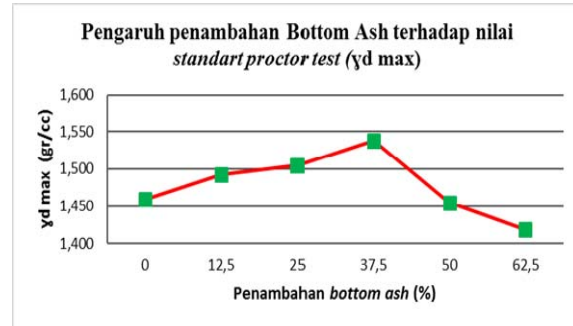
Gambar 4. Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Berat Jenis Tanah

Pada Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin besar penambahan bottom ash pada campuran tanah lempung akan mengakibatkan semakin menurunnya nilai berat jenis. Menurunnya nilai berat jenis (Gs) tanah akibat dari bottom ash.

E. Pengujian Kepadatan Maksimum (γ_{dmax})

Pada Gambar 5. dan Tabel 7. dapat di simpulkan bahwa semakin besar persentase penambahan bottom ash maka semakin besar pula nilai dari kepadatan maksimum. Akan tetapi nilai kepadatan maksimum terbesar hanya sampai pada penambahan persentase bottom ash 37,5% dan akan mengalami penurunan pada saat penambahan persentase bottom ash lebih dari 37,5 %.

Berikut adalah Gambar 5. hasil test pemadatan yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah tentang nilai kepadatan maksimum.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Kepadatan Maksimum (γ_{dmax})

Tabel 7. Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Kepadatan Maksimum (γ_{dmax})

Penambahan Limbah Bottom Ash (%)	Nilai Kepadatan Maksimum (γ_{dmax}) (gr/cm ³)
0	1,459
12,5	1,493
25	1,505
37,5	1,538
50	1,455
62,5	1,419

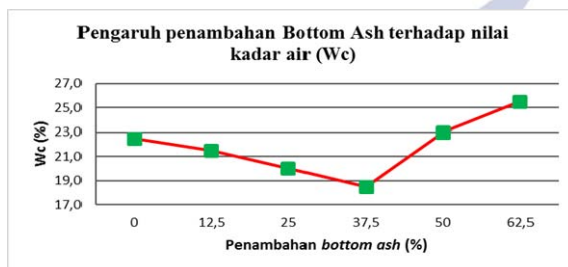
Penurunan ini akibat dari semakin banyaknya penambahan bottom ash maka ikatan campuran antara tanah dan bottom ash semakin besar yang menyebabkan banyak terbentuknya gumpalan. Gumpalan- gumpalan ini akan membentuk pori- pori yang akan terisi oleh air dan udara. Keadaan tersebut berdampak pada menurunnya nilai dari volume tanah dan diikuti dengan menurunnya nilai kepadatan maksimum tanah.

F. Nilai Kadar Air Optimum (w_{copt})

Selain digunakan untuk menentukan nilai kepadatan maksimum (γ_{dmax}), test pemadatan juga digunakan untuk menentukan kadar air optimum (w_{copt}). Hasil test pemadatan mengenai nilai kadar air optimum (w_{copt}) yang dapat dilihat pada Tabel 8. dan Gambar 6. dengan persentase penambahan bottom ash sebesar 12,5%, 25%, dan 37,5% mengalami penurunan tetapi akan mengalami kenaikan pada persentase 50% dan 62,5%.

Tabel 8. Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Kadar Air Optimum (wc_{opt})

Penambahan Limbah Bottom Ash (%)	Nilai Kadar Air Optimum (Wc opt) (%)
0	22,5
12,5	21,5
25	20,0
37,5	18,5
50	23,0
62,5	25,5



Gambar 6. Grafik Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Kadar Air Optimum (wc_{opt})

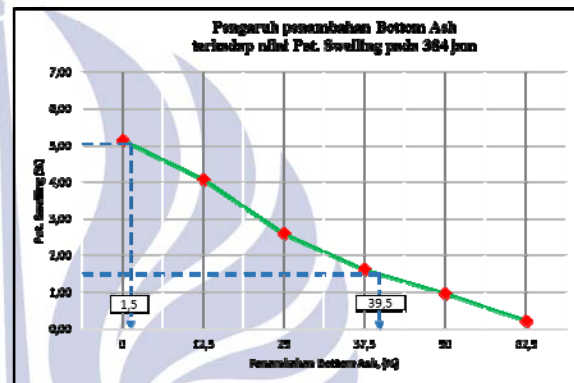
Pada persentase bottom ash yang lebih besar akan mengakibatkan meningkatnya nilai dari kadar air optimum. Peristiwa tersebut terjadi karena ikatan antara tanah lempung dan bottom ash menghasilkan gumpalan-gumpalan. Pada gumpalan-gumpalan ini terbentuklah pori-pori yang akan terisi oleh air dan udara. Air yang mengisi pori-pori mengakibatkan meningkatnya kadar air pada campuran. Sehingga semakin banyak persentase dari penambahan bottom ash maka semakin banyak pula pori-pori yang akan terisi air dan mengakibatkan semakin banyak juga air yang dibutuhkan.

G. Pengujian Potensial Swelling

Nilai potensial pengembangan tanah akan mengalami penurunan seiring dengan penambahan bottom ash. Pada Tabel 9. dan Gambar 7. menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan persentase limbah bottom ash pada tanah lempung maka nilai potensial swelling akan menurun dan waktu yang diperlukan untuk proses pengembangan menjadi semakin singkat. Setelah diamati dalam waktu 0 jam, 8 jam, 16 jam, 24 jam, 48 jam, hingga 408 jam, dapat dilihat bahwa nilai potensial swelling pada tanah asli dalam kurun waktu 408 jam (17 hari) dan pada penambahan bottom ash pengembangan tanah berhenti pada 192 jam (8 hari).

Tabel 9. Pengaruh Penambahan Limbah Bottom ash pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Potensial swelling pada 384 jam

Penambahan Limbah Bottom Ash (%)	Nilai Pot. Pengembangan (%)	Klasifikasi Tanah Ekspansif
0	5,14	Tinggi
12,5	4,07	Sedang
25	2,59	Sedang
37,5	1,62	Sedang
50	0,96	Lemah/ Rendah
62,5	0,21	Lemah/ Rendah



Gambar 7. Grafik Pengaruh Penambahan Bottom ash terhadap Nilai Potensial Swelling pada 384 jam

Potensial Swelling tanah lempung dengan penambahan limbah bottom ash sebesar 0% hingga 37,5% terjadi akibat dari proses sementasi dari tanah dan bottom ash. Proses sementasi dimana terjadinya penggumpalan antara tanah dengan bottom ash menyebabkan tegangan antar pori membesar dan pengembangan tanah menjadi terhambat kemudian berhenti mengembang.

Membesarnya tegangan pori tanah yang sudah dipadatkan sebelumnya akan menurunkan tegangan efektif tanah akibat kadar air untuk mengembang. Peristiwa ini akan menyebabkan perubahan volume menjadi kecil. Di karenakan pada contoh tanah hanya dapat mengembang secara vertikal maka akan berdampak pada tinggi tanah contoh. Dan pada akhirnya selisih dari tinggi tanah contoh awal dan setelah mengembang menjadi lebih kecil.

Sedangkan pada penambahan limbah bottom ash 50% dan 62,5% memiliki nilai kadar air optimum awal sebelum percobaan yang besar. Semakin besar nilai kadar optimum airnya maka semakin besar pula tingkat derajat kejenuhan tanah tersebut. Semakin besar derajat kejenuhan campuran tanah akan menyebabkan semakin sedikit air yang masuk pada pori-pori campuran tanah pada saat dilakukannya percobaan. Tanah yang memiliki

tingkat kejenuhan yang tinggi akan mengalami pengembangan singkat pada tanah. Pengembangan singkat ini mengakibatkan tanah mengalami pengembangan yang rendah.

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah dengan penambahan bottom ash terhadap tanah ekspansif di daerah Lakarsantri, Surabaya adalah sebagai berikut:

1. Penambahan bottom ash dapat menurunkan nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif dengan klasifikasi pengembangan sedang.
2. Dengan penambahan lebih dari 1,5% bottom ash, mampu menurunkan potensial pengembangan menjadi sedang. Untuk penambahan bottom ash lebih dari 39,5 % mampu menurunkan potensial pengembangan menjadi rendah.

Saran

Saran- saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah penggunaan bottom ash untuk stabilisasi tanah dianjurkan hanya sampai pada persentase penambahan 39,5%. Hal ini bertujuan untuk mencegah kemungkinan terjadinya penurunan kepadatan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, Gogot Setyo. 2011. *Pondasi Dangkal*. Andi: Yogyakarta
- Budhu, Muni. 2011. *Soil Mechanics and Foundations*. 3rd edition Chichester: Wiley
- Carter, Michael and Stephen P. Bently. 2016. *Soil Properties and Their Correlations*. 2nd edition. Chichester: Wiley.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. 7th edition. Stamford: Cengage Learning.
- Das, Braja M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th edition. Stamford: Cengage Learning.
- Das, Braja M. 1991. *Mekanika Tanah: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jilid 1. Terjemahan Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga
- Hardiyatmo, Hary C. 2013. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Cetakan ke dua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ramme, Bruce W., Mathew P. Tharaniyil. 2013. *Coal Combustion Products Utilization Handbook*. 3rd edition. America: We Energies.
- Santoso, Indriana, Salil Kumar R.. 2003. "Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik

Campuran Aspal Beton". *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*. Vol. 5 (2): hal. 75-81

Soedarmo, G. D. dan Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Kanisius.

Sutarman, E. 2013. *Konsep & Aplikasi Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Andi

Wesley, Laurence D. 2012. *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan & Residu*. Terjemahan Laurence D. Wesley dan Satyawan Pranyoto. Yogyakarta: Andi